

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
9. Oktober 2003 (09.10.2003)

PCT

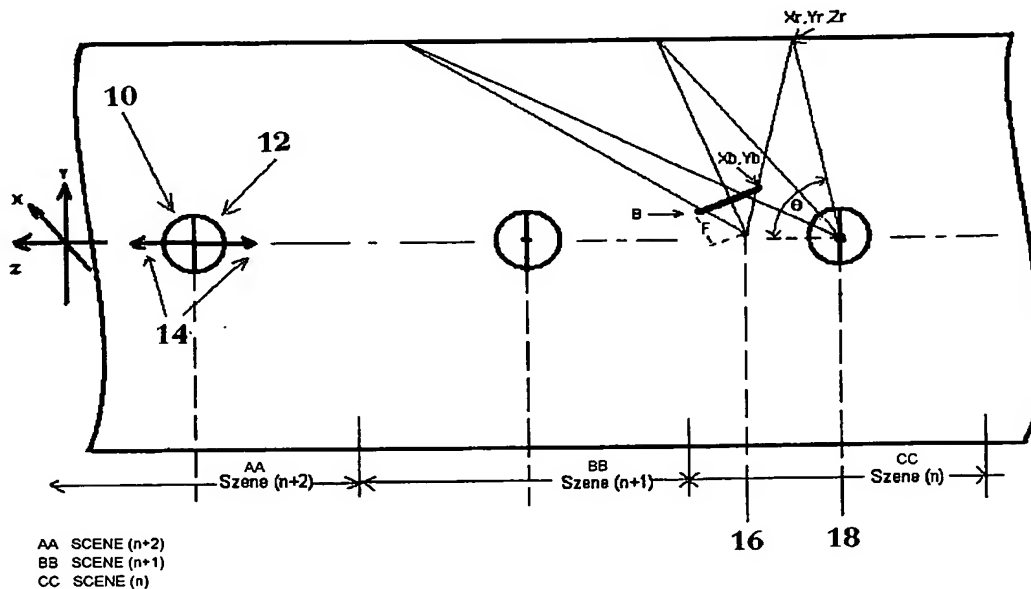
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/083430 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01M 3/00 (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): REHSE, Heino  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00195 [DE/DE]; Henri-Dunant-Str. 4, 24223 Raisdorf (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 24. Januar 2003 (24.01.2003) (74) Anwalt: BIEHL, Christian; c/o Boehmert & Boehmert,  
Niemannsweg 133, 24105 Kiel (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).  
(30) Angaben zur Priorität: 102 13 931.8 28. März 2002 (28.03.2002) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): IBAK HELMUT HUNGER GMBH & CO. KG [DE/DE]; Wehdenweg 122, 24148 Kiel (DE).  
Veröffentlicht: — ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR INSPECTING CHANNEL PIPES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM INSPIZIEREN VON KANALROHREN



(57) Abstract: The invention relates to a method for inspecting channel pipes, wherein hemispherical or fully spherical digital images captured at various locations (18) in the pipe by means of a camera provided with a fish-eye lens are calculated and perspective images enabling a virtual swivelling are produced. The intermediate images arising for any specific neighbouring location (16) (of the desired fictive camera position) are calculated and represented on the basis of image data captured in a location (18) wherein the geometry of the imaged pipe is known, by computationally projecting the captured images onto the known pipe geometry and by calculating the perspective image data therefrom for the neighbouring location.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/083430 A2



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Verfahren zum Inspizieren von Kanalrohren, bei dem mit einer mit einer Fisheye-Linse versehenen Kamera an bestimmten Orten (18) im Rohr aufgenommene, hemi- oder vollsphärische digitale Bilder unter Erzeugen von ein virtuelles Verschwenken erlaubenden, perspektivischen Bilder verrechnet werden, wobei bei bekannter Geometrie des abgebildeten Rohrs aus den an einem Ort (18) genommenen Bilddaten die sich für an einem beliebigen benachbarten Ort (16) (der gewünschten fiktiven Kameraposition) ergebende Zwischenbilder errechnet und dargestellt werden, indem die aufgenommenen Bilder rechnerisch auf die bekannte Rohrgeometrie projiziert und die sich daraus für den benachbarten Ort ergebenden perspektivischen Bilddaten errechnet werden.

---

## Verfahren zum Inspizieren von Kanalrohren

---

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Inspizieren von Rohren wie Abwasserrohren, Pipelines und dgl.

Aus der EP 1022553 B1 ist ein in einem Kanalrohr verfahrbarer Kamerawagen bekannt, der zur Erzeugung vollsphärischer Bilder an definierten Streckenabschnitten längs der Rohrachse (z.B. alle 5cm) mit Weitwinkelobjektiven, insbesondere auch Fisheye-Objektiven, eingerichtet ist. Die digitalen Bildsignale werden gespeichert und können zu einem späteren Zeitpunkt optisch ausgewertet werden. Aus der US 5,185,667 ist ein Verfahren zur Erzeugung perspektivischer Abbildungen mit Schwenk-, Neige-, Dreh- und Vergrößerungsfunktionen aus mit einem Fisheye-Objektiv gefertigten digitalen Bildern bekannt, das ein Betrachten der an dem Aufnahmepunkt aufgenommen Bilder in verschiedenen Richtungen, aber nur von diesem Punkt aus, ermöglicht.

Bei einer Anwendung dieses Verfahrens zum Wiedergeben von Aufnahmen von einzelnen Bildern an verschiedenen Orten in dem Kanalrohr kann durch ein geeignetes Verrechnen der gewonnen Bildsignale jeder Ort der Rohrwandung betrachtet werden, aber nur von den diskreten Orten, an denen die Aufnahmen gefertigt worden sind. Wenn die Fahrt des Kamerawagens durch das Kanalrohr nachvollzogen wird, so springt das Bild von Aufnahmeort zu Aufnahmeort. Es ist aber erwünscht, bei dem nachträglichen virtuellen Durchfahren des Kanals den Eindruck eines tatsächlichen Durchfahrens zu erzeugen, also Bilder von Orten aus wiederzugeben, an denen tatsächlich gar keine Aufnahme gefertigt worden ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, anhand diskreter, an definierten Streckenabschnitten des Rohre aufgenommener hemisphärischer oder vollsphärischer Bilder eine kontinuierliche axiale Kanalinspektionsbefahrung zu simulieren, also an beliebigen (außerhalb der optischen Zentren der Bildaufnahmen liegenden) Orten perspektivische Bilder zu erzeugen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung an.

Die Erfindung nutzt den Umstand, dass bei Rohrsystemen deren Geometrie (Maße und Profil) und der Ort der Kamera innerhalb des Rohres jedenfalls näherungsweise bekannt sind. Dies macht es möglich, aus diskreten Bildern an definierten Streckenabschnitten (z.b. alle 5cm) kontinuierliche Ansichten längs der Rohrachse zu errechnen, die zwischen den eigentlichen Originalaufnahmen liegen.

Hierzu werden die Bilddaten der hemisphärischen oder vollsphärischen Bilder (eine bzw. zwei Fisheyaufnahmen) ausgehend von dem Ort der Kamera in dem Rohr rechnerisch auf die Innenfläche der bekannten Rohrgeometrie projiziert, wobei mathematisch ein unendlich langes dreidimensionales Rohrmodell verwendet wird. Zu jedem Bildpunkt des 2D-Fisheye-Bildes  $P(X_f, Y_f)$  mit bekannter Abbildungsfunktion (z.b. F-Theta-Objektiv) errechnen sich die Einfallswinkel ( $\alpha, \theta$  der Kugelkoordinaten) und daraus ein korrespondierender Bildpunkt im 3D-Raum  $P'(X_r, Y_r, Z_r)$  auf der Rohrrinnenfläche. Für jeden Ort der Originalaufnahmen kann im Speicher des Rechners eine solche 3D-Szene aufgebaut werden. Mit bekannten Techniken der 3D-Grafikvisualisierung kann nun eine zweidimensionale perspektivische Ansicht erzeugt werden. Neben Schwenk-, Neige-, Dreh- und Vergrößerungsfunktionen erlaubt dies auch eine Translation (also die Simulation einer axialen Bewegung durch das Rohr an andere Orte als denen der Originalaufnahmen).

Befindet sich die fiktive Kamera nun im Bereich einer nächsten Originalaufnahme, wird mit dieser Aufnahme eine neue 3D-Szene aufgebaut. Der Gültigkeitsbereich einer Szene entspricht also dem Abstand der diskreten Originalaufnahmezentren.

Um die zu berechnende Datenmenge (Anzahl der Bildpunkte) zu reduzieren, kann man auch in der aktuellen Szene aus der gewünschten fiktiven Kameraposition und deren Blickwinkel im Raum lediglich die Bildpunkt berechnen, die sich in dem gewünschten Ausschnitt (Region of Interest) der Bildebene B (der fiktiven Kamera) befinden. Aus den Bildpunktkoordinaten der Bildebene B errechnet man mit Hilfe eines Projektionszentrums zuerst die korrespondierenden Bildpunktkoordinaten auf der Innenfläche der bekannten Rohrgeometrie und daraus die korrespondierenden Bildpunktkoordinaten in der Fisheyaufnahme und erhält somit den Farb- und Helligkeitswert des Bildpunktes auf der Bildebene B mit  $P''(X_b, Y_b) = P(X_f, Y_f)$ . Die hier für notwendige Mathematik ist dem Fachmann bekannt (Trigonometrie und Geometrie des Raumes).

Der Erfindung liegt damit – bildhaft gesprochen - die Idee zugrunde, die von dem Fisheye-Objektiv erfassten Bilder ausgehend von dem Aufnahmeort auf die Innenfläche eines imaginären Rohres zu projizieren und dieses nach Umrechnung von einem beliebigen, fortschreitenden Ort in zentralperspektivischen Bilder zu betrachten.

Die Zeichnung dient zum besseren Verständnis der Erfindung. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Errechnung der Zwischenbilder,

Fig. 2 die Bildebene der fiktiven Kamera und

Fig. 3 das Fisheyebild.

Die folgenden Daten sind in der Recheneinheit (Rechenprogramm) vorgegeben bzw. vorzugeben:

- ◆ Das Rohrprofil und deren Maße ( z.B. Kreis- mit DN, oder Eiprofil mit Abmessungen) Position der Fisheyes und Winkel ihrer optischen Achsen im Rohr,
- ◆ Brennweite des Fisheyes und deren Abbildungsfunktion (F-Theta-Verzeichnung), Position, Brennweite, Schwenk-, Neige- und Drehwinkel der fiktiven Kamera.

In Fig. 1 sind zur Vereinfachung nur Strahlen und Koordinaten auf der Y-Z-Ebene beschrieben. Die Bildebene B der fiktiven Kamera ist nach oben geneigt (nicht gedreht und nicht verschwenkt). Die optischen Achsen 14 der Fisheye-Objektive 10, 12 entsprechen der Rohrachse.

B = Bildebene der fiktiven Kamera

F = Brennweite der fiktiven Kamera (Abstand der Bildebene B (Projektionsebene) zum optisches Zentrum der fiktiven Kamera (Projektionszentrum)

$\alpha, \theta$  = Einfallswinkel ins Fisheye, wobei  $\theta$  der Winkel zur Z-Achse und  $\alpha$  der Winkel, den die Projektion des Strahls auf die X,Y-Ebene mit der X-Achse bildet, ist.

(Xb,Yb) = Bildpunktkoordinaten auf der Bildebene B

$(X_r, Y_r, Z_r)$  = Bildpunktkoordinaten auf der Rohrwand  
Es gilt  $P''(X_b, Y_b) = P(X_f, Y_f)$ .

Die Bildpunktkoordinaten  $(X_f, Y_f)$  im F-Theta-Fisheyebild errechnet sich aus den Einfalls-  
winkel  $\theta$  und  $\alpha$  mit:

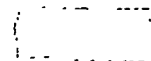
$$Y_f = \sin(\alpha) * F_f * \theta \quad \text{und} \quad X_f = \cos(\alpha) * F_f * \theta,$$

wobei  $F_f$  = Brennweite des Fisheye-Objektivs ist.

In Fig. 1 gilt:

$$\alpha = \pi/2 \rightarrow X_f = 0 \text{ und } Y_f = F_f * \theta.$$

In Fig. 1 wird angenommen, dass an bestimmten Orten **18** innerhalb des zu inspizierenden Rohres von einem Fisheye-Objektiv **10** nach vorne weisende und von einem anderen Fisheye-Objektiv **12** nach hinten weisende Aufnahmen gefertigt werden. Von einer fiktiven Kameraposition **16** aus, die zwischen den Orten **18**, an denen Originalaufnahmen gefertigt wurden, werden Szenen erfasst, die von den Orten **18**, an denen Originalaufnahmen gefertigt wurden, ausgehend aufgebaut werden.



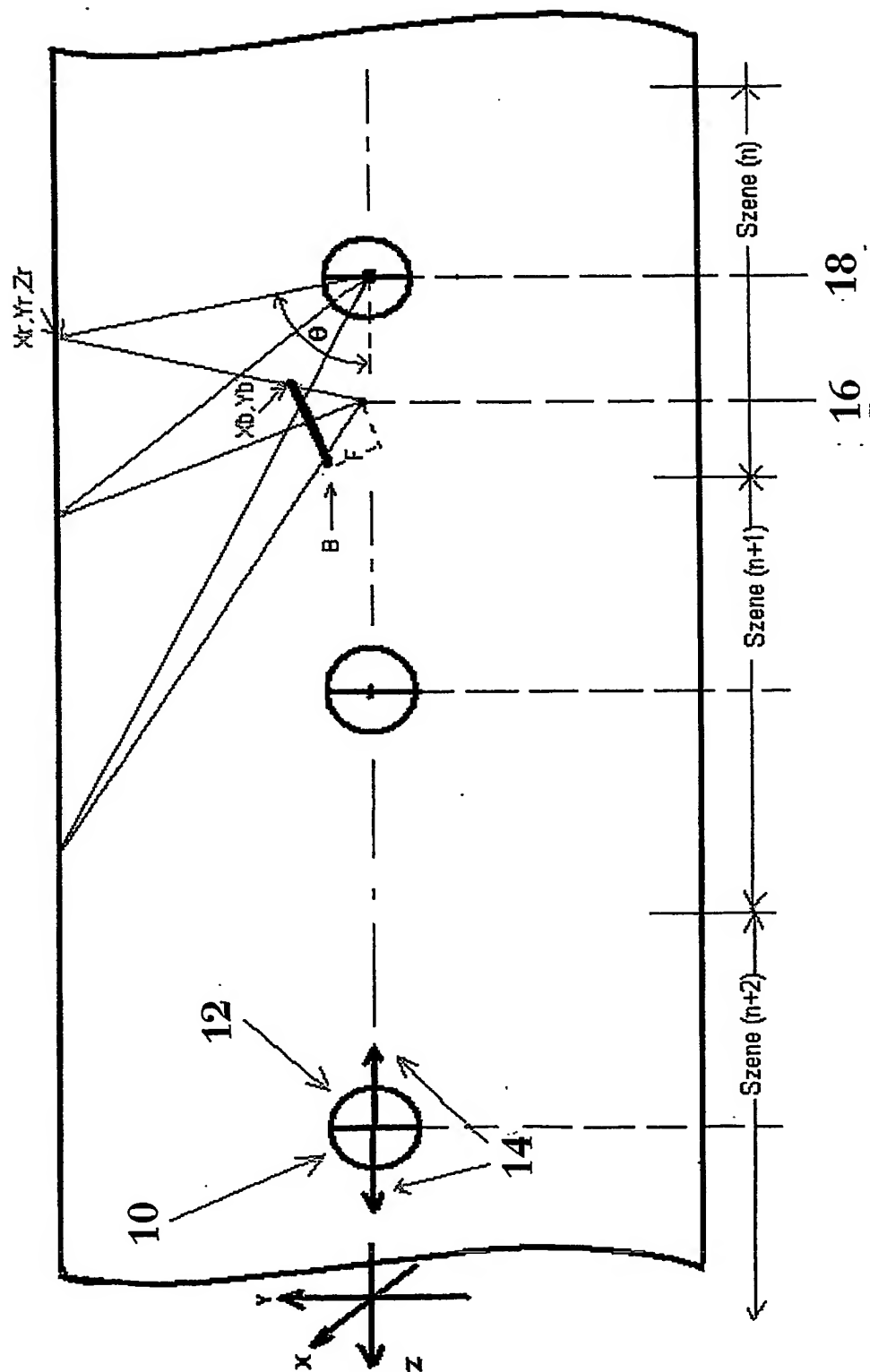
## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Inspizieren von Kanalrohren, bei dem mit einer mit einer Fisheye-Linse versehenen Kamera an bestimmten Orten (18) im Rohr aufgenommene, hemi- oder vollsphärische digitale Bilder unter Erzeugen von ein virtuelles Verschwenken erlaubenden, perspektivischen Bilder verrechnet werden, dadurch gekennzeichnet, dass

bei bekannter Geometrie des abgebildeten Rohrs aus den an einem Ort (18) genommenen Bilddaten die sich für an einem beliebigen benachbarten Ort (16) (der gewünschten fiktiven Kameraposition) ergebende Zwischenbilder errechnet und dargestellt werden, indem die aufgenommenen Bilder rechnerisch auf die bekannte Rohrgeometrie projiziert und die sich daraus für den benachbarten Ort ergebenden perspektivischen Bilddaten errechnet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Bildpunkt des 2D-Fisheye-Bildes  $P'$  ( $X_f$ ,  $Y_f$ ) mit bekannter Abbildungsfunktion die Einfallswinkel ( $\alpha$ ,  $\theta$ ) der Kugelkoordinaten und daraus ein korrespondierender Bildpunkt im 3D-Raum  $P$  ( $X_r$ ,  $Y_r$ ,  $Z_r$ ) auf der Rohroberfläche errechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus der gewünschten fiktiven Kameraposition (16) und deren Blickwinkel im Raum die Bildpunkte, die sich in dem gewünschten Ausschnitt der Bildebene befinden, errechnet werden, indem aus dem Bildpunktkoordinaten ( $X_b$ ,  $Y_b$ ) der Bildebene  $B$  unter Annahme eines im Abstand  $F$  von der Bildebene  $B$  liegenden Projektionszentrums die korrespondierenden Bildpunktkoordinaten ( $X_r$ ,  $Y_r$ ,  $Z_r$ ) auf der Innenfläche der bekannten Rohrgeometrie und die korrespondierenden Bildpunktkoordinaten ( $X_f$ ,  $Y_f$ ) des Fisheye-Bildes errechnet werden und so der Farb- und Helligkeitswert des Bildpunktes auf der Bildebene  $B$  mit  $P''$  ( $X_b$ ,  $Y_b$ ) =  $P$  ( $X_f$ ,  $Y_f$ ) gewonnen wird.

Fig. 1



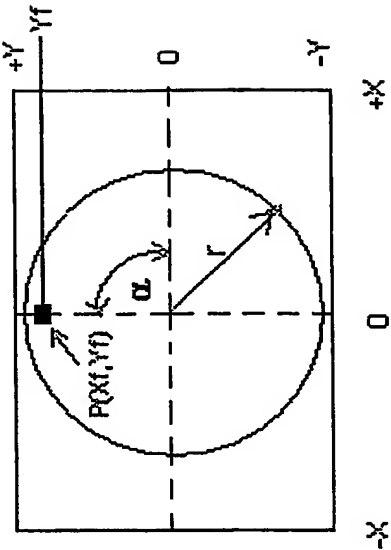


Fig. 2

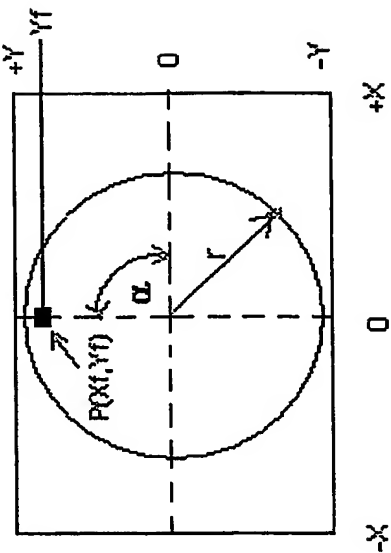


Fig. 3